

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-023122

(43)Date of publication of application : 23.01.2002

(51)Int.Cl. G02F 1/035
 H04B 10/152
 H04B 10/142
 H04B 10/04
 H04B 10/06
 H04B 10/28
 H04B 10/26
 H04B 10/14
 // G02F 1/03

(21)Application number : 2000-199897

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 30.06.2000

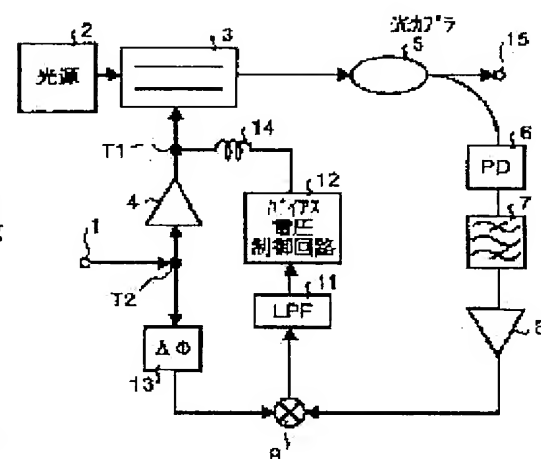
(72)Inventor : KOBAYASHI TATSUYA
 ISHIDA KAZUYUKI
 SHIMIZU KATSUHIRO
 KOBAYASHI YUKIO

(54) OPTICAL TRANSMITTER, AND BIAS VOLTAGE CONTROL METHOD FOR OPTICAL MODULATOR USED THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily control a bias voltage even in ≥ 10 GHz band of a driving signal and to prevent the quality of an optical output signal from being deteriorated due to waveform deterioration.

SOLUTION: This optical transmitter is provided with a Mach-Zehnder optical modulator 3, a light source 2 for inputting an optical signal of continuous light to the Mach-Zehnder optical modulator 3, a driving circuit 4 for inputting a driving signal to the Mach-Zehnder optical modulator 3, an optical coupler 5 for taking out a part of the output optical signal, a photodiode 6 for converting the taken-out output optical signal into an electric signal, a band-pass filter 7 and preamplifier 8 for extracting the frequency components of the driving signal contained in this electric signal, a mixer 9 for synchronously detecting the driving signal and the frequency components outputted from preamplifier 8, and a bias voltage control circuit 12 for controlling a bias voltage based on the phase-comparison result by the synchronous detection inputted via a low-pass filter 11.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-23122

(P2002-23122A)

(43) 公開日 平成14年1月23日 (2002.1.23)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 2 F 1/035		G 0 2 F 1/035	2 H 0 7 9
H 0 4 B 10/152		1/03	5 0 2 5 K 0 0 2
10/142		H 0 4 B 9/00	L
10/04			Y
10/06			

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-199897 (P2000-199897)

(22) 出願日 平成12年6月30日 (2000.6.30)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 小林 竜也

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 石田 和行

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100089118

弁理士 酒井 宏明

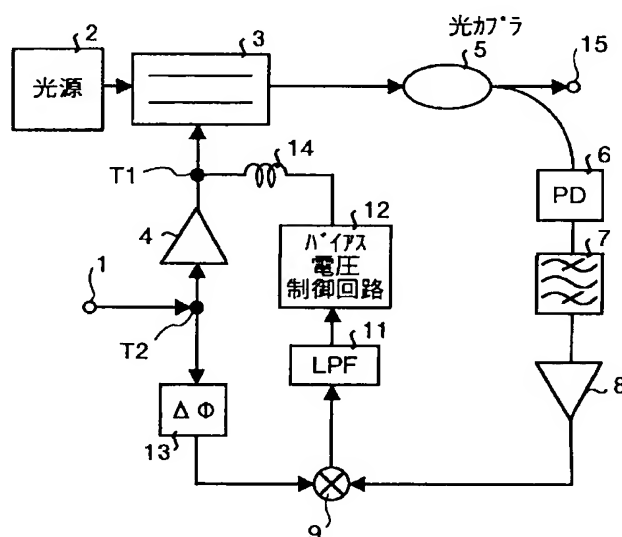
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光送信装置およびこれに用いる光変調器のバイアス電圧制御方法

(57) 【要約】

【課題】 駆動信号の帯域が10GHz以上となっても、容易にバイアス電圧制御が行え、波形劣化による出力光信号の品質劣化を防止すること。

【解決手段】 マッハツェンダ型光変調器3と、マッハツェンダ型光変調器3に連続光の光信号を入力する光源2と、マッハツェンダ型光変調器3に駆動信号を入力する駆動回路4と、出力光信号の一部を取り出す光カプラ5と、取り出された出力光信号を電気信号に変換するフォトダイオード6と、この電気信号内に含まれる駆動信号の周波数成分を抽出するバンドパスフィルタ7およびプリアンプ8と、駆動信号とプリアンプ8が出力した周波数成分との同期検波を行うミキサ9と、ローパスフィルタ11を介して入力される同期検波による位相比較結果をもとに、バイアス電圧を制御するバイアス電圧制御回路12とを備える。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 駆動信号の 2 倍の周波数をもつ光パルス列を送信出力する光送信装置において、マッハツェンダ型の光変調器と、前記光変調器に光信号を入力する光源と、前記光変調器に前記駆動信号を入力する駆動手段と、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換する変換手段と、前記変換手段によって変換された電気信号内に含まれる前記駆動信号の周波数成分を抽出する抽出手段と、前記駆動手段に輸入される前記駆動信号と前記抽出手段によって抽出された前記駆動信号の周波数成分との位相比較を行う位相比較手段と、前記位相比較結果をもとに、前記光変調器に印加されるバイアス電圧を制御するバイアス電圧制御手段と、を備えたことを特徴とする光送信装置。

【請求項 2】 前記位相比較手段は、前記駆動手段に輸入される信号と前記抽出手段が抽出した前記駆動信号の周波数成分とをミキシングするミキサと、前記ミキサからの出力のうちの低周波成分を透過させるローパスフィルタと、を備え、前記バイアス電圧制御手段は、前記ローパスフィルタからの出力をもとに、前記バイアス電圧を制御することを特徴とする請求項 1 に記載の光送信装置。

【請求項 3】 前記光源は、前記駆動信号に同期した該駆動信号の 2 倍のビットレートで変調された光パルスを生成し、該光パルスを前記光変調器に輸入し、前記光変調器は、前記駆動信号によって前記光パルスをパルス変調出力することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光送信装置。

【請求項 4】 前記駆動信号の極性を反転させる移相器をさらに備え、前記光変調器は、一方の電極に前記駆動信号が印加され、他方の電極に前記移相器によって極性が反転された駆動信号が印加され、該 2 つの駆動信号によって前記光源から出力される光信号をプッシュプルに変調出力することを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか一つに記載の光送信装置。

【請求項 5】 マッハツェンダ型の光変調器に光信号を入力するとともに、駆動信号およびバイアス電圧を印加し、該駆動信号の 2 倍の周波数をもつ光パルス列を送信

$$I(t) = k \{ 1 + \cos(\beta \cdot S(t) + \delta) \} \quad \dots (1)$$

である。ここで、「 k 」は、比例係数であり、「 β 」は、変調度であり、「 δ 」は、マッハツェンダ型光変調器の動作点の位相である。

【0005】 変調信号 $S(t)$ を 2 値のデジタル信号とし、変調度 β を $\beta = \pi$ とし、適切な DC 電圧（バイアス電圧）をマッハツェンダ型光変調器に印加して初期の位相 δ を $\delta = \pi/2$ とすると、マッハツェンダ型光変調

出力する光送信装置に用いる光変調器のバイアス電圧制御方法において、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換する変換工程と、前記変換工程によって変換された電気信号内の前記駆動信号の周波数成分を抽出する抽出工程と、前記駆動工程に輸入される信号と前記抽出工程によって抽出された前記駆動信号の周波数成分との位相比較を行う位相比較工程と、前記位相比較工程による位相比較結果をもとに、前記光変調器に印加されるバイアス電圧を制御するバイアス電圧制御工程と、を含むことを特徴とする光送信装置に用いる光変調器のバイアス電圧制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、光通信システムに用いられる外部変調方式の光送信装置およびこれに用いる光変調器のバイアス電圧制御方法に関し、特に、マッハツェンダ型の光変調器を用いた光送信装置およびこれに用いる光変調器のバイアス電圧制御方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来から、光通信システムでは、レーザダイオードに対する駆動電流によって光変調信号を生成し、駆動電流である電気信号に比例した光の強度信号を得る直接変調方式が用いられていた。しかし、伝送速度が数 Gbit/s を超える超高速・広帯域光通信システムでは、直接変調時において光の波長が変化するチャープピングが発生し、このチャープピングが伝送容量を制限する。

【0003】 一方、外部変調方式は、チャープピングの発生が少なく、10GHz 以上の動作帯域であっても、比較的簡単に変調することができ、超高速・広帯域の大容量光通信システムに適用されつつある。外部変調器として最も一般的な光変調器は、リチウムナイオベイト（LiNbO₃ : Lithium Niobate）を用いたマッハツェンダ（Mach-Zehnder）型光変調器である。

【0004】 このマッハツェンダ型光変調器を用いて、変調信号 $S(t)$ で変調した出力光信号 $I(t)$ は、次式（1）で表される。すなわち、

器は、変調信号 $S(t)$ に比例してオン／オフする出力光信号 $I(t)$ を出力する。

【0006】 ここで、変調度 β を $\beta = 2\pi$ とし、適切なバイアス電圧をマッハツェンダ型光変調器に印加して初期の位相 δ を $\delta = 0$ とし、さらに変調信号 $S(t)$ として、繰り返し周波数 R の正弦波を入力すると、出力光信号 $I(t)$ は、次式（2）で表される。すなわち、

$$I(t) = k \{1 + \cos(2\pi \cdot \sin(2\pi R(t)))\} \quad \cdots (2)$$

である。したがって、式(2)が示す出力光信号 $I(t)$ は、繰り返し周波数 R の 2 倍の繰り返し周波数 $2R$ でオン／オフする光信号として出力される。

【0007】ここで、位相 δ の値が一定であれば、問題ないが、通常のリチウムナイオベイトを用いた光変調器では、その動作点がドリフトしてしまうという問題点がある。このドリフトには、温度変化がもたらす焦電効果による熱ドリフトと、光変調器の電極に印加したバイアス電圧が光変調器の素子表面上に形成する電荷分布によって生起する DC ドリフトとの 2 つのドリフトがある。これらのドリフトによる動作点変動を補償するには、最適な動作点となるようにバイアス電圧を光変調器に印加する必要がある。

【0008】図 8 は、このリチウムナイオベイトを用いた光変調器に印加されるバイアス電圧を安定化させることができる従来の光送信装置の構成を示すブロック図である（特開平 5-142504 号公報参照）。図 8 において、光源 101 から出射された連続光は、リチウムナイオベイトを用いたマッハツェンダ型光変調器 103 に入力される。マッハツェンダ型光変調器 103 には、終端器 114 が接続されるとともに、接続点 TT を介してマッハツェンダ型光変調器 103 を駆動する駆動信号およびバイアス電圧が印加される。

【0009】マッハツェンダ型光変調器 103 によって変調された出力光信号は、分波器 104 を介して出力端 120 に出力されるとともに、一部の出力光信号は、フォトダイオード 105 に入力される。フォトダイオード 105 は、入力された一部の出力光信号を電気信号に変換し、プリアンプ 106 によって、この電気信号を増幅し、同期検波回路 107 に出力する。

【0010】同期検波回路 107 は、プリアンプ 106 から入力された電気信号とディザ信号発生器 112 から出力された低周波信号との同期検波を行う。同期検波回路 107 は、ミキサ 117 を有し、プリアンプ 106 から入力された電気信号とディザ信号発生器 112 から出力された低周波信号とをミキシングする。ミキシングされた信号は、演算増幅器 108 を介して低域透過フィルタ 109 に入力され、低域透過された信号は、バイアス電圧制御回路 110 に出力される。

【0011】バイアス電圧制御回路 110 は、DC 電源 118 と加算器 119 とを有し、加算器 119 は、同期検波回路 107 から出力された信号と、DC 電源 118 から出力されたバイアス電圧を加算し、インダクタ 111 を介して、接続点 TT からマッハツェンダ型光変調器 103 にバイアス電圧として出力する。一方、駆動信号は、入力端 121 から入力され、駆動回路 124 を介して低周波重畳回路 113 に出力する。低周波重畳回路 113 は、入力された駆動信号とディザ信号発生器 112 から出力された低周波信号とを重畳し、コンデンサを介

し、接続点 TT からマッハツェンダ型光変調器 103 に駆動信号として印加する。したがって、接続点 TT からは、ともに低周波信号が重畳された駆動信号、およびバイアス電圧制御されたバイアス電圧がマッハツェンダ型光変調器 103 に印加されることになる。

【0012】ここで、図 9～図 11 を参照して、従来の光送信装置によるマッハツェンダ型光変調器のバイアス電圧制御方法について説明する。図 9 は、バイアス電圧（位相 δ ）が適正な値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器 103 による変調動作を説明する図である。図 9 において、マッハツェンダ型光変調器 103 の動作特性曲線 130 は、式(1)で示した動作特性曲線を示し、バイアス電圧（位相 δ ）が適正に設定された状態を示している。この場合、マッハツェンダ型光変調器 103 に、低周波信号が重畳された駆動信号（入力信号）131 が入力されると、駆動信号 131 は、動作特性曲線 130 によって変調され、出力光信号 132 として出力される。この出力光信号 132 には、駆動信号に重畳された低周波信号の低周波成分（ f [Hz]）が含まれておらず、低周波成分（ f [Hz]）の 2 倍の低周波成分（ $2f$ [Hz]）が発生している。したがって、出力光信号 132 の一部をフォトダイオード 105 で受光し、さらにプリアンプ 106 で増幅した後、同期検波回路 107 によって同期検波した信号の出力は、「0」となる。この場合、バイアス電圧制御回路 110 の加算器 119 において加算される信号成分はないため、現在のバイアス電圧がそのまま維持され、マッハツェンダ型光変調器 103 に印加される。

【0013】一方、図 10 は、バイアス電圧が適正な値に比してやや高い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器 103 による変調動作を説明する図である。図 10 において、マッハツェンダ型光変調器 103 の動作特性曲線 140 は、バイアス電圧が適正な値に比してやや高い値に設定された状態を示している。この場合、マッハツェンダ型光変調器 103 に、低周波信号が重畳された駆動信号 131 と同じ駆動信号 141 がマッハツェンダ型光変調器 103 に入力されると、駆動信号 141 は、動作特性曲線 140 によって変調され、出力光信号 142 として出力される。この出力光信号 142 は、駆動信号に重畳された低周波信号の低周波成分（ f [Hz]）が含まれ、この低周波成分（ f [Hz]）の位相は、駆動信号に重畳された低周波成分（ f [Hz]）の位相に対して反転している。したがって、同期検波回路 107 は、低周波成分（ f [Hz]）を同期検波するとともに、その出力を「負」電圧としてバイアス電圧制御回路 110 に出力する。この場合、バイアス電圧制御回路 110 の加算器 119 は、DC 電源 118 から出力されるバイアス電圧に負の電圧を加算し、現在のバイアス電圧を小さくし、適正なバイアス電圧の値に近づける制

御を行う。

【0014】また、図11は、バイアス電圧が適正な値に比してやや低い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器103による変調動作を説明する図である。図11において、マッハツェンダ型光変調器103の動作特性曲線150は、バイアス電圧が適正な値に比してやや低い値に設定された状態を示している。この場合、マッハツェンダ型光変調器103に、低周波信号が重畳された駆動信号131と同じ駆動信号151がマッハツェンダ型光変調器103に入力されると、駆動信号151は、動作特性曲線150によって変調され、出力光信号152として出力される。この出力光信号152は、駆動信号に重畳された低周波信号の低周波成分(f [Hz])が含まれ、この低周波成分(f [Hz])の位相は、駆動信号に重畳された低周波成分(f [Hz])の位相に一致している。したがって、同期検波回路107は、低周波成分(f [Hz])を同期検波するとともに、その出力を「正」電圧としてバイアス電圧制御回路110に出力する。この場合、バイアス電圧制御回路110の加算器119は、DC電源118から出力されるバイアス電圧に正の電圧を加算し、現在のバイアス電圧を大きくし、適正なバイアス電圧の値に近づける制御を行う。

【0015】このようにして、従来の光送信装置のマッハツェンダ型光変調器に印加されるバイアス電圧制御では、マッハツェンダ型光変調器103から出力される出力光信号の一部を検出し、バイアス電圧の最適動作点からのずれに対応した誤差信号を同期検波回路107が生成し、バイアス電圧制御回路110が、この誤差信号が小さくなるようにバイアス電圧を制御し、安定したバイアス電圧を維持するようにしている。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述した従来の光送信装置のマッハツェンダ型光変調器103に印加されるバイアス電圧制御では、駆動信号に低周波信号を重畳するようにしているが、この低周波信号を駆動信号に重畳する低周波重畳回路113は、図示しない電圧制御アッテネータや電圧制御可変利得増幅器などのデバイスを用いているため、駆動信号の帯域が10GHz以上になると、これらのデバイスの動作帯域が不足し、マッハツェンダ型光変調器103に印加すべき駆動信号に波形歪みが発生することによって、出力光信号の品質劣化が生ずるという問題点があった。

【0017】また、従来の光送信装置のマッハツェンダ型光変調器103では、変調時の最適動作点のドリフトをモニタするために、ディザ信号である低周波信号を駆動信号に重畳しなければならず、ディザ信号発生器112および低周波重畳回路113を必要とし、小型軽量化を阻害するという問題点があった。

【0018】なお、従来の光送信装置は、駆動信号の繰

り返し周波数 R に比例した出力光信号を得るものであったが、駆動信号の繰り返し周波数 R の2倍の繰り返し周波数 $2R$ をもつ出力光信号を出力する光送信装置であっても、マッハツェンダ型光変調器におけるバイアス電圧の安定化制御ができることが要望されている。

【0019】この発明は上記に鑑みてなされたもので、駆動信号の帯域が10GHz以上となっても、容易にバイアス電圧の安定化制御を行って出力光信号の品質劣化を防止でき、駆動信号の繰り返し周波数 R の2倍の繰り返し周波数 $2R$ をもつ出力光信号を出力する場合について、容易にバイアス電圧の安定化制御を行うことができる光送信装置およびこれに用いる光変調器のバイアス電圧制御方法を得ることを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、この発明にかかる光送信装置は、駆動信号の2倍の周波数をもつ光パルス列を送信出力する光送信装置において、マッハツェンダ型の光変調器と、前記光変調器に光信号を入力する光源と、前記光変調器に前記駆動信号を入力する駆動手段と、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換する変換手段と、前記変換手段によって変換された電気信号内に含まれる前記駆動信号の周波数成分を抽出する抽出手段と、前記駆動手段に入力される信号と前記抽出手段によって抽出された前記駆動信号の周波数成分との位相比較を行う位相比較手段と、前記位相比較結果をもとに、前記光変調器に印加されるバイアス電圧を制御するバイアス電圧制御手段と、を備えたことを特徴とする。

【0021】この発明によれば、駆動手段が、マッハツェンダ型の前記光変調器に駆動信号を入力し、光源から入力される光信号を変調出力し、変換手段が、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換し、抽出手段が、前記変換手段によって変換された電気信号内に含まれる前記駆動信号の周波数成分を抽出し、位相比較手段が、前記駆動手段に入力される信号と前記抽出手段によって抽出された前記駆動信号の周波数成分との位相比較を行い、バイアス電圧制御手段が、前記位相比較結果をもとに、前記光変調器に印加されるバイアス電圧をフィードバック制御するようにしている。

【0022】つぎの発明にかかる光送信装置は、上記の発明において、前記位相比較手段は、前記駆動手段に入力される信号と前記抽出手段が抽出した前記駆動信号の周波数成分とをミキシングするミキサと、前記ミキサからの出力のうちの低周波成分を透過させるローパスフィルタと、を備え、前記バイアス電圧制御手段は、前記ローパスフィルタからの出力をもとに、前記バイアス電圧を制御することを特徴とする。

【0023】この発明によれば、位相比較手段のミキサが、前記駆動手段に入力される信号と前記抽出手段が抽

出した前記駆動信号の周波数成分とをミキシングして、同期検波を行い、ローパスフィルタが、前記ミキサからの出力のうちの低周波成分を透過させ、前記バイアス電圧制御手段が、前記ローパスフィルタからの出力をもとに、前記バイアス電圧を制御するようにしている。

【0024】つぎの発明にかかる光送信装置は、上記の発明において、前記光源は、前記駆動信号に同期した該駆動信号の2倍のビットレートで変調された光パルスを生成し、該光パルスを前記光変調器に入力し、前記光変調器は、前記駆動信号によって前記光パルスをパルス変調出力することを特徴とする。

【0025】この発明によれば、前記光源が、前記駆動信号に同期した該駆動信号の2倍のビットレートで変調された光パルスを生成し、該光パルスを前記光変調器に入力し、前記光変調器が、前記駆動信号によって前記光パルスをパルス変調出力するようにしている。

【0026】つぎの発明にかかる光送信装置は、上記の発明において、前記駆動信号の極性を反転させる移相器をさらに備え、前記光変調器は、一方の電極に前記駆動信号が印加され、他方の電極に前記移相器によって極性が反転された駆動信号が印加され、該2つの駆動信号によって前記光源から出力される光信号をプッシュプルに変調出力することを特徴とする。

【0027】この発明によれば、光変調器の一方の電極に前記駆動信号が印加され、他方の電極に、移相器によって極性が反転された駆動信号が印加され、該2つの駆動信号によって前記光源から出力される光信号をプッシュプルに変調出力するようにしている。

【0028】つぎの発明にかかる光送信装置に用いる光変調器のバイアス電圧制御方法は、マッハツェンダ型の光変調器に光信号を入力するとともに、駆動信号およびバイアス電圧を印加し、該駆動信号の2倍の周波数をもつ光パルス列を送信出力する光送信装置に用いる光変調器のバイアス電圧制御方法において、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換する変換工程と、前記変換工程によって変換された電気信号内の前記駆動信号の周波数成分を抽出する抽出工程と、前記駆動工程に入力される信号と前記抽出工程によって抽出された前記駆動信号の周波数成分との位相比較を行う位相比較工程と、前記位相比較工程による位相比較結果をもとに、前記光変調器に印加されるバイアス電圧を制御するバイアス電圧制御工程と、を含むことを特徴とする。

【0029】この発明によれば、変換工程によって、マッハツェンダ型の前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換し、抽出工程によって、前記変換工程によって変換された電気信号内の前記駆動信号の周波数成分を抽出し、位相比較工程によって、前記駆動工程に入力される信号と前記抽出工程によって抽出された前記駆動信号の周波数成分との位相比較

を行い、バイアス電圧制御工程によって、前記位相比較工程による位相比較結果をもとに、前記光変調器に印加されるバイアス電圧をフードバック制御するようにしている。

【0030】

【発明の実施の形態】以下に添付図面を参照して、この発明にかかる光送信装置およびこれに用いる光変調器のバイアス電圧制御方法の好適な実施の形態を詳細に説明する。

【0031】実施の形態1. 図1は、この発明の実施の形態1である光送信装置の構成を示すブロック図である。図1において、光源2から出射された連続光は、リチウムナイオベイトを用いたマッハツェンダ型光変調器3に入力される。マッハツェンダ型光変調器3には、接続点T1を介してマッハツェンダ型光変調器3を駆動する駆動信号およびバイアス電圧が印加される。マッハツェンダ型光変調器3は、バイアス電圧によって設定された動作特性曲線を有し、この動作特性曲線に対応し、入力された駆動信号によって光源2からの連続光を変調し、出力光信号として出力する。

【0032】マッハツェンダ型光変調器3によって変調された出力光信号は、光カプラ5を介して出力端15に出力されるとともに、一部の出力光信号は、フォトダイオード6に入力される。フォトダイオード6は、入力された一部の出力光信号を電気信号に変換し、バンドパスフィルタ7に出力する。バンドパスフィルタ7は、入力された電気信号のうち、駆動信号の繰り返し周波数成分(R [Hz])を透過させ、プリアンプ8に出力する。プリアンプ8は、透過した周波数成分(R [Hz])を増幅し、ミキサ9に出力する。

【0033】一方、入力端1から入力され、マッハツェンダ型光変調器3を駆動する駆動信号は、接続点T2を介して、駆動回路4および移相器13に出力される。駆動回路4に入力された駆動信号は、接続点T1を介してマッハツェンダ型光変調器3に印加される。また、移相器13に入力された駆動信号は、位相調整され、ミキサ9に出力される。

【0034】ミキサ9は、プリアンプ8から入力された信号と移相器13から入力された駆動信号とをミキシングし、同期検波を行う。ミキシングされた信号は、ローパスフィルタ11に入力され、低周波成分のみを透過させ、バイアス電圧制御回路12に出力する。バイアス電圧制御回路12は、ローパスフィルタ11から出力された低周波成分の値をもとに、マッハツェンダ型光変調器3のバイアス電圧が最適動作点となるバイアス電圧を出力し、インダクタ14および接続点T1を介して、マッハツェンダ型光変調器3に印加する。

【0035】ここで、図2～図4を参照して、図1に示した光送信装置によるマッハツェンダ型光変調器3のバイアス電圧制御について説明する。図2は、バイアス電

圧（位相 δ ）が適正な値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器 3 による変調動作を説明する図である。図 2 において、マッハツェンダ型光変調器 3 の動作特性曲線 20 a は、式（1）で示した動作特性曲線を示し、バイアス電圧（位相 δ ）が適正に設定された状態を示している。この場合、式（2）に対応し、変調度 β を $\beta = 2\pi$ とし、初期の位相 δ を $\delta = 0$ に設定され、マッハツェンダ型光変調器 3 は、繰り返し周波数 R （ R [Hz]）の駆動信号 20 b によって、繰り返し周波数 R （ R [Hz]）の 2 倍の繰り返し周波数 $2R$ （ $2R$ [Hz]）をもつ出力光信号 20 c として出力する。

【0036】光カプラ 5 によって、一部の出力光信号 20 c が分岐され、フォトダイオード 6 によって検出され、電気信号に変換された信号は、バンドパスフィルタ 7 に出力される。バンドパスフィルタ 7 は、出力光信号 20 c 内に含まれる駆動信号 20 b に対応した繰り返し周波数 R 成分のみを透過させ、バンドパスフィルタ出力信号 20 d として、プリアンプ 8 に出力する。この場合、フォトダイオード 6 から入力された電気信号内には、繰り返し周波数 R 成分が含まれていないため、バンドパスフィルタ出力信号 20 d の値は、「0」となる。したがって、プリアンプ 8 からミキサ 9 に出力される信号出力も、「0」となる。

【0037】一方、ミキサ 9 には、移相器 13 を介して駆動信号 20 b の位相を調整した移相器出力信号 20 e が入力される。ミキサ 9 は、移相器出力信号 20 e と、バンドパスフィルタ出力信号 20 d を増幅した信号とをミキシングによって同期検波し、ミキサ出力信号 20 f としてローパスフィルタ 11 に出力する。この場合、バンドパスフィルタ出力信号 20 d を増幅した信号の値は「0」であるため、ミキサ出力信号 20 f の値も「0」となる。したがって、ローパスフィルタ 11 からバイアス電圧制御回路 12 に出力される信号の値も「0」となり、バイアス電圧制御回路 12 は、現在のバイアス電圧を維持したバイアス電圧を、インダクタ 14 および接続点 T1 を介してマッハツェンダ型光変調器 3 に印加する。

【0038】これに対し、図 3 は、マッハツェンダ型光変調器 3 に印加されるバイアス電圧が適正な値に比してやや高い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器 3 による変調動作を説明する図である。図 3 に示したマッハツェンダ型光変調器 3 の動作特性曲線 21 a は、図 2 に示した動作特性曲線 20 a に比して、バイアス電圧がやや高い値に設定された状態となっている。

【0039】光カプラ 5 によって、一部の出力光信号 21 c が分岐され、フォトダイオード 6 によって検出され、電気信号に変換された信号は、バンドパスフィルタ 7 に出力される。バンドパスフィルタ 7 は、出力光信号 21 c 内に含まれ、駆動信号 20 b と同じ駆動信号 21 b に対応した繰り返し周波数 R 成分のみを透過させ、バ

ンドパスフィルタ出力信号 21 d として、プリアンプ 8 に出力する。この場合、フォトダイオード 6 から入力された電気信号内には、繰り返し周波数 R 成分が含まれているため、図 3 に示すようなバンドパスフィルタ出力信号 21 d の波形を出力する。さらに、プリアンプ 8 は、この繰り返し周波数 R 成分のバンドパスフィルタ出力信号 21 d を増幅し、ミキサ 9 に出力する。

【0040】一方、ミキサ 9 には、図 2 と同様に、移相器 13 を介して駆動信号 20 b と同じ駆動信号 21 b の位相を調整した移相器出力信号 21 e が入力される。ミキサ 9 は、移相器出力信号 21 e と、バンドパスフィルタ出力信号 21 d を増幅した信号とをミキシングによって同期検波し、ミキサ出力信号 21 f としてローパスフィルタ 11 に出力する。この場合、ミキサ出力信号 21 f は、図 3 に示すような信号として出力される。ここで、移相器出力信号 21 e と、バンドパスフィルタ出力信号 21 d を増幅した信号とは、位相が一致しているため、ミキサ出力信号 21 f の値は、「正」の値として出力される。このミキサ出力信号 21 f は、ローパスフィルタ 11 を介してバイアス電圧制御回路 12 に入力され、バイアス電圧制御回路 12 は、現在のバイアス電圧に、入力されたミキサ出力信号 21 f の値に比例する値を加算し、この加算したバイアス電圧を、インダクタ 14 および接続点 T1 を介してマッハツェンダ型光変調器 3 に印加する。これによって、マッハツェンダ型光変調器 3 の動作点が最適動作点に近づく。

【0041】これに対し、図 4 は、マッハツェンダ型光変調器 3 に印加されるバイアス電圧が適正な値に比してやや低い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器 3 による変調動作を説明する図である。図 4 に示したマッハツェンダ型光変調器 3 の動作特性曲線 22 a は、図 2 に示した動作特性曲線 20 a に比して、バイアス電圧がやや低い値に設定された状態となっている。

【0042】光カプラ 5 によって、一部の出力光信号 22 c が分岐され、フォトダイオード 6 によって検出され、電気信号に変換された信号は、バンドパスフィルタ 7 に出力される。バンドパスフィルタ 7 は、出力光信号 22 c 内に含まれ、駆動信号 20 b と同じ駆動信号 22 b に対応した繰り返し周波数 R 成分のみを透過させ、バンドパスフィルタ出力信号 22 d として、プリアンプ 8 に出力する。この場合、フォトダイオード 6 から入力された電気信号内には、繰り返し周波数 R 成分が含まれているため、図 4 に示すようなバンドパスフィルタ出力信号 22 d の波形を出力する。さらに、プリアンプ 8 は、この繰り返し周波数 R 成分のバンドパスフィルタ出力信号 22 d を増幅し、ミキサ 9 に出力する。

【0043】一方、ミキサ 9 には、図 2 と同様に、移相器 13 を介して駆動信号 20 b と同じ駆動信号 22 b の位相を調整した移相器出力信号 22 e が入力される。ミキサ 9 は、移相器出力信号 22 e と、バンドパスフィル

タ出力信号 22d を増幅した信号とをミキシングによって同期検波し、ミキサ出力信号 22f としてローパスフィルタ 11 に出力する。この場合、ミキサ出力信号 22f は、図 4 に示すような信号として出力される。ここで、移相器出力信号 22e と、バンドパスフィルタ出力信号 22d を増幅した信号とは、位相が反転しているため、ミキサ出力信号 22f の値は、「負」の値として出力される。このミキサ出力信号 22f は、ローパスフィルタ 11 を介してバイアス電圧制御回路 12 に入力され、バイアス電圧制御回路 12 は、現在のバイアス電圧に、入力されたミキサ出力信号 22f の値に比例する値を加算、すなわち減算され、この減算したバイアス電圧を、インダクタ 14 および接続点 T1 を介してマッハツェンダ型光変調器 3 に印加する。これによって、マッハツェンダ型光変調器 3 の動作点が最適動作点に近づく。

【0044】このようにして、この光送信装置では、ミキサ出力信号 20f ~ 22f が示すバイアス電圧の誤差信号をもとに、バイアス電圧制御回路 12 が、マッハツェンダ型光変調器 3 の動作点を最適動作点に修正するフィードバック制御を行うようにしている。ここで、ミキサ出力信号 20f ~ 22f は、バイアス電圧のずれの大きさとともに、バイアス電圧のずれの方向をも示しており、これによってバイアス電圧制御が確実になされる。

【0045】なお、上述した光送信装置のプリアンプは、リミッタンプによって実現されることが好ましい。また、バイアス電圧制御回路 12 は、たとえば、バイアス電圧源としての DC 電源、およびこの DC 電源出力をミキサ出力信号 20f ~ 22f に応じて増幅する演算増幅器を設けることによって実現できる。さらに、バンドパスフィルタ 7 およびプリアンプ 8 によって、出力光信号 20c ~ 22c 内の繰り返し周波数 R 成分を抽出するようにしているが、これに代わり、PLL によって、出力光信号 20c ~ 22c 内の繰り返し周波数 R 成分を抽出するようにしてもよい。

【0046】ところで、上述した実施の形態 1 では、接続点 T1 において、駆動信号とバイアス電圧とを合成し、この合成した信号をマッハツェンダ型光変調器 3 に印加するようにしているが、これに限らず、駆動信号とバイアス電圧とを異なる入力端から入力するマッハツェンダ型光変調器にも適用できる。

【0047】さらに、フォトダイオード 6 の前段に光フィルタをさらに設けるようにしてもよい。光源 2 から出力される光信号に不要な波長成分や雑音成分が含まれている場合、この光フィルタによって出力光信号成分の波長を選択的に透過させることができ、この結果、全体的に精度の高いバイアス電圧制御が可能になるからである。

【0048】この実施の形態 1 によれば、駆動信号に、ディザ信号のような低周波信号を重畳せずに、駆動信号と出力光信号とから、バイアス電圧のずれを直接的に検

出し、この検出したミキサ出力信号をもとに、バイアス電圧制御を行うようにしているため、駆動信号の帯域が 10GHz 以上になっても、バイアス電圧制御を容易に行うことができ、駆動信号の波形歪みによる出力光信号の品質劣化を抑止することができる。

【0049】実施の形態 2. つぎに、この発明の実施の形態 2 について説明する。上述した実施の形態 1 では、光源 2 が連続光を出力し、駆動信号によって、この連続光を変調するようにしていたが、この実施の形態 2 では、光源 2 が、駆動信号に同期した光パルスを出力し、駆動信号を用いてマッハツェンダ型光変調器 3 からパルス変調された光信号を出力できるようにしている。

【0050】図 5 は、この発明の実施の形態 2 である光送信装置の構成を示すブロック図である。図 5 において、光源 16 は、駆動信号に同期した光パルスを出力するパルス光源であり、たとえば、駆動信号の繰り返し周波数 R の 2 倍のビットレートを有する光パルスを出力する。その他の構成は、実施の形態 1 と同じであり、同一構成部分には同一符号を付している。

【0051】光源 16 は、たとえば、半導体レーザをゲインスイッチングして光パルスを出力する装置、ファイバ型光増幅器を用いたリング発振器、マッハツェンダ型光変調器によって連続光をパルス状に変調出力する装置などによって実現することができる。この場合、光源 16 から出力された光パルスは、マッハツェンダ型光変調器 3 によって変調されるため、出力端 15 から出力される出力光信号は、パルス変調された RZ 信号となる。したがって、光カプラ 5 を介してフォトダイオード 6 が検出する信号も、RZ 信号となる。バンドパスフィルタ 7 は、繰り返し周波数 R 成分を透過させ、この透過させた信号をプリアンプ 8 によって増幅し、ミキサ 9 によってミキサ出力信号を生成するようにしているため、実施の形態 1 と同様にして、バイアス電圧制御を行うことができる。

【0052】図 6 は、図 5 に示した光送信装置におけるミキサ出力信号（ミキサ出力電圧）と、このミキサ出力信号によって制御されたバイアス電圧との関係を測定した実験結果を示す図である。図 6 に示すように、光源 16 から光パルスが入力される場合であっても、ミキサ出力電圧に対応してバイアス電圧を最適動作点に制御することができる。なお、図 6 に示した実験結果は、ミキサ 9 から出力されるミキサ出力信号（誤差信号）をバイアス電圧制御回路 12 にフィードバックせず、ミキサ 9 からのミキサ出力信号をオープン状態で測定した結果である。

【0053】この実施の形態 2 によれば、マッハツェンダ型光変調器 3 に入力される光信号が光パルスであっても、マッハツェンダ型光変調器 3 からの出力光信号内に駆動信号の繰り返し周波数 R 成分が含まれている限り、マッハツェンダ型光変調器 3 のバイアス電圧を最適動作

点に制御することができるとともに、実施の形態 1 と同様に、駆動信号の帯域が 10 GHz 以上になっても、バイアス電圧制御を容易に行うことができ、駆動信号の波形歪みによる出力光信号の品質劣化を抑止することができる。

【0054】実施の形態 3. つぎに、この発明の実施の形態 3 について説明する。上述した実施の形態 1, 2 では、いずれも、マッハツェンダ型光変調器 3 の 1 つの電極に駆動信号を印加して変調するようにしていたが、この実施の形態 3 では、マッハツェンダ型光変調器 3 の 2 つの電極のそれぞれに、極性が異なる駆動信号を印加して変調動作を行わせるプッシュプル型のマッハツェンダ型光変調器を用いるようにしている。

【0055】図 7 は、この発明の実施の形態 3 である光送信装置の構成を示すブロック図である。図 7 において、移相器 23 を設け、マッハツェンダ型光変調器 3 の一方の電極には、接続点 T1 から、駆動信号およびバイアス電圧を印加し、他方の電極には、接続点 T3 から、この移相器 23 によって位相反転された駆動信号、およびバイアス電圧が印加される。その他の構成は、実施の形態 1 と同じであり同一構成部分には同一符号を付している。

【0056】ここで、マッハツェンダ型光変調器 3 の各電極に印加される駆動信号は、極性が異なるため、プッシュプル動作がなされ、このプッシュプル動作によって、光源 2 から入力された光信号を変調する。このプッシュプル動作によって、出力光信号内に含まれるチャープングが低減される。

【0057】この実施の形態 3 によれば、マッハツェンダ型光変調器 3 の各電極に極性が異なる駆動信号を印加して、プッシュプル動作を行わせるようにしているので、出力光信号中のチャープングを低減することができ、結果として、出力光信号の品質劣化を一層、抑止することができる。

【0058】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、駆動手段が、マッハツェンダ型の前記光変調器に駆動信号を入力し、光源から入力される光信号を変調出力し、変換手段が、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換し、抽出手段が、前記変換手段によって変換された電気信号内に含まれる前記駆動信号の周波数成分を抽出し、位相比較手段が、前記駆動手段に入力される信号と前記抽出手段によって抽出された前記駆動信号の周波数成分との位相比較を行い、バイアス電圧制御手段が、前記位相比較結果をもとに、前記光変調器に印加されるバイアス電圧をフィードバック制御するようにしているので、前記駆動信号に、ディザ信号のような低周波信号を重畳する装置構成を設けなくても、バイアス電圧制御を行うことができ、しかも、駆動信号の帯域が 10 GHz 以上になっても、バイアス

電圧制御を容易に行うことができ、駆動信号の波形歪みによる出力光信号の品質劣化を抑止することができるという効果を奏する。

【0059】つぎの発明によれば、位相比較手段のミキサが、前記駆動手段に入力される信号と前記抽出手段が抽出した前記駆動信号の周波数成分とをミキシングして、同期検波を行い、ローパスフィルタが、前記ミキサからの出力のうちの低周波成分を透過させ、前記バイアス電圧制御手段が、前記ローパスフィルタからの出力をもとに、前記バイアス電圧を制御するようにしているので、バイアス電圧制御手段が用いる所望の低周波成分のみの位相比較結果を用いてバイアス電圧制御を行うことができ、簡易なバイアス電圧制御を行うことができるという効果を奏する。

【0060】つぎの発明によれば、前記光源が、前記駆動信号に同期し、該駆動信号の 2 倍のビットレートを持ち、変調された光パルスを生成し、該光パルスを前記光変調器に入力し、前記光変調器が、前記駆動信号によって前記光パルスをパルス変調出力するようにしているので、光変調器に入力される光信号が光パルスであっても、前記駆動信号に、ディザ信号のような低周波信号を重畳する装置構成を設けずに、バイアス電圧制御を行うことができ、しかも、駆動信号の帯域が 10 GHz 以上になっても、バイアス電圧制御を容易に行うことができ、駆動信号の波形歪みによる出力光信号の品質劣化を抑止することができるという効果を奏する。

【0061】つぎの発明によれば、光変調器の一方の電極に前記駆動信号が印加され、他方の電極に、移相器によって極性が反転された駆動信号が印加され、該 2 つの駆動信号によって前記光源から出力される光信号をプッシュプルに変調出力するようにしているので、出力光信号中のチャープングを低減することができ、結果として、出力光信号の品質劣化を一層、抑止することができるという効果を奏する。

【0062】つぎの発明によれば、変換工程によって、マッハツェンダ型の前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換し、抽出工程によって、前記変換工程によって変換された電気信号内の前記駆動信号の周波数成分を抽出し、位相比較工程によって、前記駆動工程に入力される信号と前記抽出工程によって抽出された前記駆動信号の周波数成分との位相比較を行い、バイアス電圧制御工程によって、前記位相比較工程による位相比較結果をもとに、前記光変調器に印加されるバイアス電圧をフィードバック制御するようにしているので、前記駆動信号に、ディザ信号のような低周波信号を重畳しなくても、バイアス電圧制御を行うことができ、しかも、駆動信号の帯域が 10 GHz 以上になっても、バイアス電圧制御を容易に行うことができ、駆動信号の波形歪みによる出力光信号の品質劣化を抑止することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 この発明の実施の形態 1 である光送信装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】 図 1 に示したマッハツェンダ型光変調器のバイアス電圧が適正な値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器による変調動作を説明する図である。

【図 3】 図 1 に示したマッハツェンダ型光変調器のバイアス電圧が適正な値に比してやや高い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器による変調動作を説明する図である。

【図 4】 図 1 に示したマッハツェンダ型光変調器のバイアス電圧が適正な値に比してやや低い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器による変調動作を説明する図である。

【図 5】 この発明の実施の形態 2 である光送信装置の構成を示すブロック図である。

【図 6】 図 5 に示した光送信装置によるミキサ出力電圧とバイアス電圧との関係を測定した実験結果を示す図である。

【図 7】 この発明の実施の形態 3 である光送信装置の構成を示すブロック図である。

【図 8】 従来の光送信装置の構成を示すブロック図である。

【図 9】 図 8 に示したマッハツェンダ型光変調器のバイアス電圧が適正な値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器による変調動作を説明する図である。

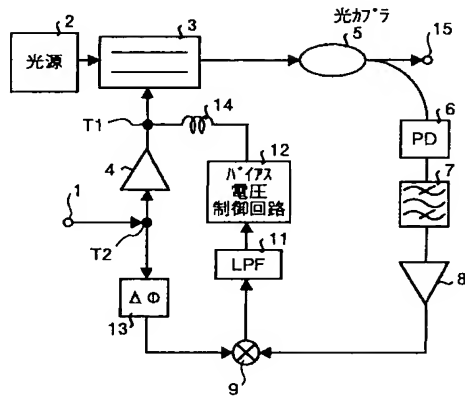
【図 10】 図 8 に示したマッハツェンダ型光変調器のバイアス電圧が適正な値に比してやや高い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器による変調動作を説明する図である。

【図 11】 図 8 に示したマッハツェンダ型光変調器のバイアス電圧が適正な値に比してやや低い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器による変調動作を説明する図である。

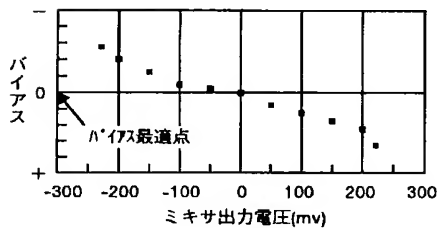
【符号の説明】

1 入力端、2, 16 光源、3 マッハツェンダ型光変調器、4 駆動回路、5 光カプラ、6 フォトダイオード、7 バンドパスフィルタ、8 プリアンプ、9 ミキサ、11 ローパスフィルタ、12 バイアス電圧制御回路、13, 23 移相器、14 インダクタ、15 出力端、T1, T2 接続点。

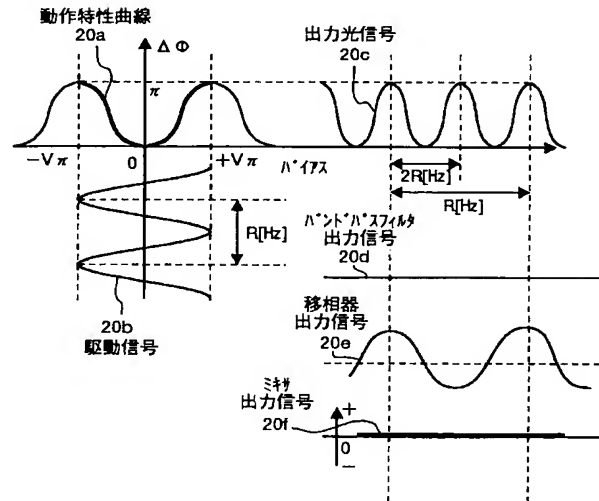
【図 1】



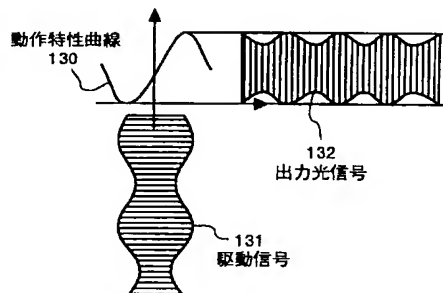
【図 6】



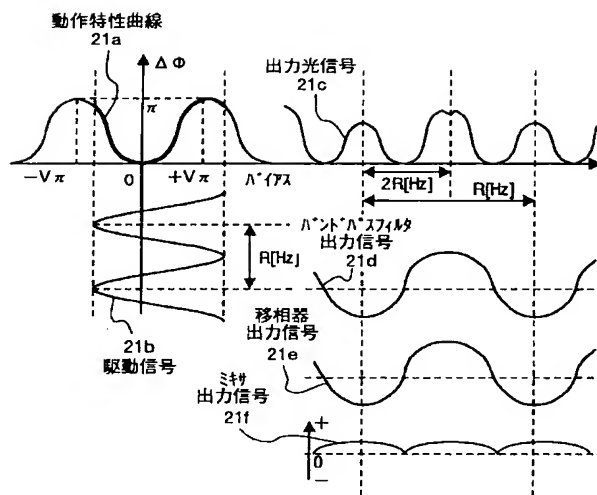
【図 2】



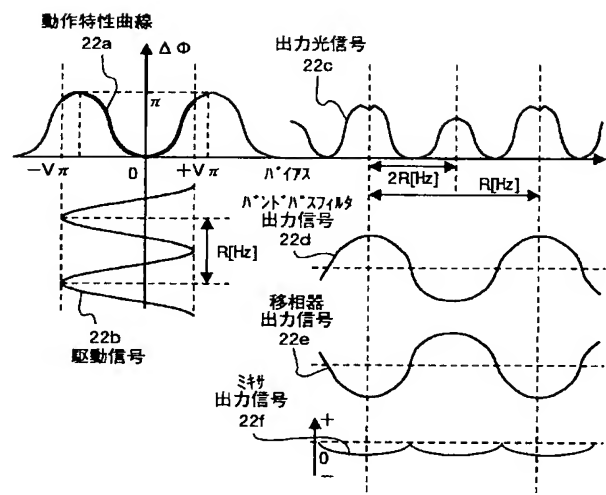
【図 9】



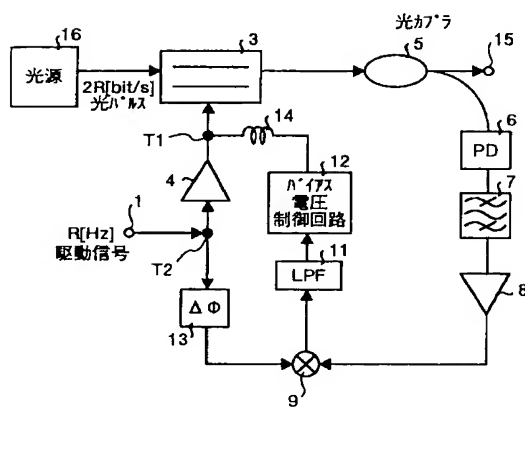
【図 3】



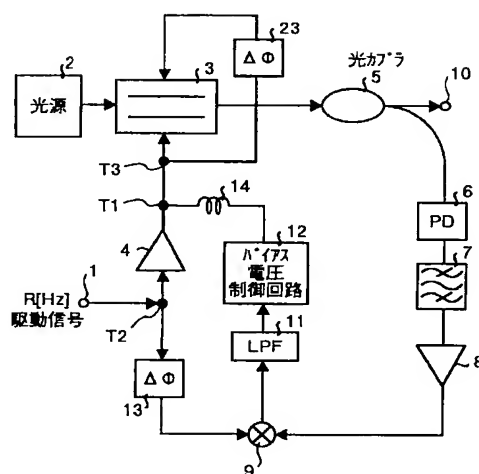
【図 4】



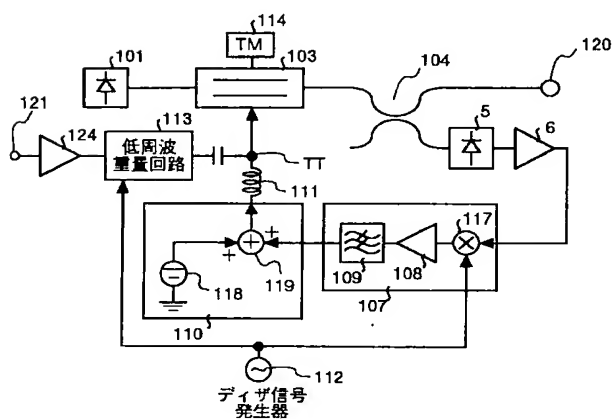
【図 5】



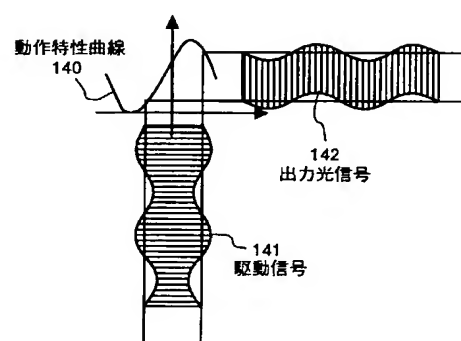
【图 7】



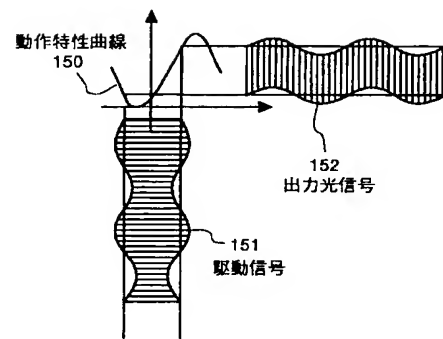
【図 8】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 4 B	10/28		
	10/26		
	10/14		
// G 0 2 F	1/03	5 0 2	

(72)発明者 清水 克宏
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72)発明者 小林 由紀夫
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

Fターム(参考) 2H079 AA02 BA01 CA04 DA02 EA05
FA01 FA02 FA04 HA11
5K002 AA02 BA02 CA15 DA07